



HAL
open science

Simulation numérique de l'hydroformage de tubes Dépendance à la vitesse de déformation

Daly Daly, Patrick Duroux, Mohamed Rachik, Jean-Marc Roelandt, Joel
Wilsius

► **To cite this version:**

Daly Daly, Patrick Duroux, Mohamed Rachik, Jean-Marc Roelandt, Joel Wilsius. Simulation numérique de l'hydroformage de tubes Dépendance à la vitesse de déformation. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01812970

HAL Id: hal-01812970

<https://hal.science/hal-01812970v1>

Submitted on 12 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Simulation numérique de l'hydroformage de tubes

Dépendance à la vitesse de déformation

D. Daly*—**P. Duroux****—**M. Rachik***—**J.M. Roelandt***—**J.Wilsius****

* Université de Technologie de Compiègne

Laboratoire Roberval FRE 2833, BP 20529 - 60205 Compiègne, France

Daly.daly@utc.fr

Mohamed.rachik@utc.fr

Jean-marc.roelandt@utc.fr

** ARCELOR, Centre Auto-Applications, 60160 MONTATAIRE -France

Patrick.duroux@arcelor.com

Joel.wilsius@arcelor.com

RÉSUMÉ. En hydroformage de tubes, des amincissements localisés peuvent intervenir lors du procédé sans pour autant affecter les performances en service du produit fini. En effet, le procédé d'hydroformage de tubes en acier au carbone se poursuit après apparition locale d'instabilités plastiques. En simulation numérique, les modèles de comportement classiques montrent leurs limites une fois que l'instabilité est atteinte. Parmi les différentes techniques de régularisation, nous avons testé plusieurs modèles destinés à prédire la post-localisation à l'aide du code ABAQUS. Nous avons retenu pour nos simulations de l'hydroformage un modèle basé sur la dépendance à la vitesse de déformation plastique. Nous avons évalué ce modèle en nous basant sur des résultats expérimentaux de tests en vitesse réalisés au Centre Auto-Applications d'ARCELOR

ABSTRACT. In tube hydroforming, some local thinning can be observed on industrial components. When low carbon steels are concerned, the process of tube hydroforming can be stopped broadly after reaching the instability while having an acceptable part. In numerical simulation, the classical elastic-plastic models reach their limits when the plastic instability occurs. In this work, several approaches leading to regularization were investigated and a material rate dependence based-on model was retained. The capacity of this model to take into account the strain localization phenomenon was evaluated using ABAQUS with reference to some experimental tests made at the Automotive-Applications Centre of ARCELOR.

MOTS-CLÉS : Hydroformage, localisation, instabilités, vitesse de déformation, éléments finis.

KEYWORDS: Tube hydroforming, localization, instabilities, strain rate, finite elements

1. Introduction

L'hydroformage de tubes est un procédé de mise en forme qui consiste à expandre un tube dans un moule ayant la forme finale désirée en appliquant une pression hydraulique interne. Ce procédé est devenu un moyen de fabrication standard pour de nombreux composants automobiles comme les berceaux moteurs, les longerons, les collecteurs d'échappement, les traverses de planche de bord...etc. La compréhension, le suivi du processus de déformation ainsi que la détermination des limites entraînant le rejet des pièces constituent des enjeux économiques de la plus grande importance.

2. Localisation en hydroformage de tubes

En hydroformage de tubes, la localisation des déformations génère des amincissements localisés que nous avons mis en évidence sur des tests d'hydroformage spécifiques comme le Corner Fill test. Ce test étudié dans le cadre de notre travail est illustré par la Figure 1.



Figure 1. *Corner Fill test*

Dans le cas du Corner Fill test, l'expansion du tube se fait dans une matrice à section carrée. Une pression hydraulique est introduite à l'intérieur du tube sans appliquer de compression axiale (extrémités du tube fixes). Parmi les aciers au carbone, les aciers 'Dual Phase', comme le DP600, présentent l'un des meilleurs compromis allongement/ductilité pour les essais d'hydroformage. Pour cette raison, des amincissements localisés dus au phénomène de striction diffuse peuvent être visibles sur certaines pièces finies comme le montre la figure 2-a .

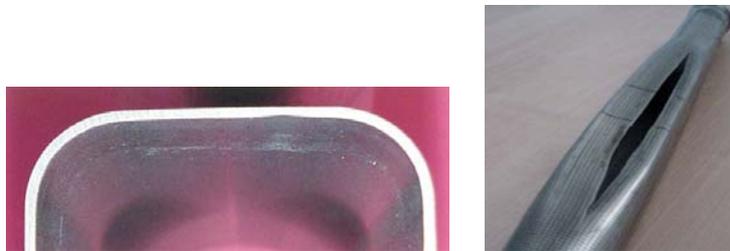


Figure 2. *a- Amincissement localisé ; b- Rupture d'un tube après striction*

L'instabilité peut être affectée par plusieurs paramètres comme la vitesse de déformation, la présence de défauts, le frottement et le trajet de chargement (Till, 2001), (Duroux *et al.*, 2001), (Boudeau *et al.*, 2001). Généralement, la rupture du tube intervient pour ce type d'aciers entre le milieu de la partie supportée et le coin (figure 2-b).

Nous nous intéressons dans ce travail, à la prédiction de la post-localisation au cours d'un Corner Fill test réalisé sur un tube en DP600 dont les caractéristiques mécaniques ont été fournies par ARCELOR. Il est montré par expérience et au travers de la simulation numérique que l'apparition de ces amincissements localisés dépend étroitement des propriétés mécaniques du matériau et principalement de l'érouissage. Grâce à la bonne ténacité du DP600, une opération d'hydroformage peut être réussie même si le niveau de déformation atteint a largement dépassé celui correspondant à l'instabilité.

3. Simulation numérique du Corner Fill test

La compréhension du phénomène d'instabilité qui est en jeu passe nécessairement par le développement d'un modèle de comportement approprié. La simulation numérique basée sur la méthode des éléments finis est utilisée pour prédire l'apparition mais aussi et surtout le suivi de cette instabilité dans la phase de post-localisation encore mal maîtrisée pour certains types d'aciers.

3.1. Description du modèle utilisé

Les modèles de comportement élasto-plastiques classiques comme le modèle de Prandtl-Reuss montrent leurs limites une fois que l'instabilité plastique se produit. Ceci est dû essentiellement à la nature des équations décrivant le comportement du matériau. La figure 3 illustre le problème de mauvaise prédiction de la phase de post-localisation lors de la simulation du Corner Fill test.

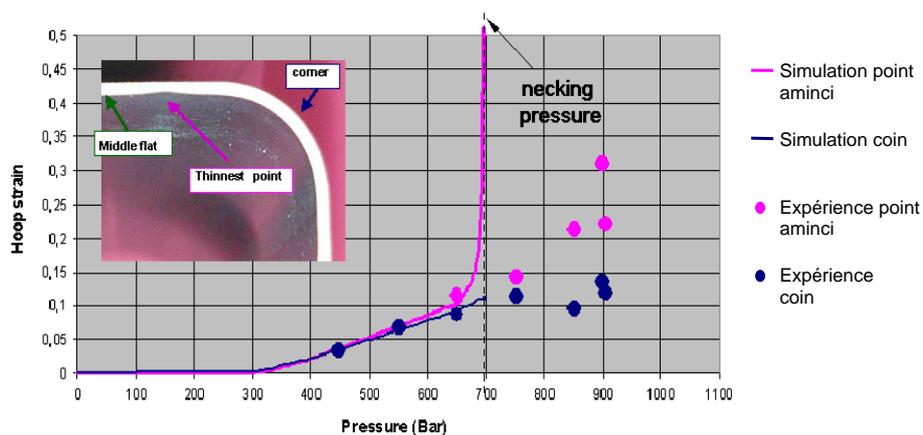


Figure 3. Evolution de la déformation circonférentielle en fonction de la pression

Pour remédier aux problèmes de localisation lors de la simulation numérique, il est de coutume d'introduire dans la description du comportement un ou plusieurs paramètres contenant une longueur caractéristique. Cette démarche appelée plus communément 'régularisation' est possible en ayant recours à des modèles continus d'ordres supérieurs ou milieux généralisés comme le milieu de Cosserat (Muhlhaus, 1989). Les approches non locales offrent également des possibilités de simulation de la post-localisation avec la perspective d'éviter la dépendance au maillage. Alternativement, on trouve la technique de régularisation basée sur la prise en compte de la vitesse de déformation et destinée à régulariser les équations de comportement. Parmi ces techniques, nous en avons testé deux et retenu cette dernière méthode qui consiste à prendre en compte un aspect purement physique du comportement des matériaux. Les modèles de comportement sensibles à la vitesse introduisent implicitement une échelle de longueur caractéristique. Le comportement peut être décrit par une loi s'écrivant sous la forme générale :

$$\bar{\sigma}(p, \dot{p}) = K (p + p_0)^n \left(\frac{\dot{p}}{\dot{p}_0} \right)^m \quad [1]$$

où K , n et p_0 sont les constantes d'écrouissage du matériau, m est le paramètre de sensibilité à la vitesse, \dot{p} est le taux de déformation plastique équivalente et \dot{p}_0 la vitesse de déformation de référence (quasi-statique)

Ce type de modèle génère un retard dans la phase de post-localisation. L'intérêt de la prise en compte de la vitesse de déformation afin d'éliminer la perte d'ellipticité des équations d'équilibre a été mis en évidence par plusieurs auteurs et notamment par Needleman. Celui-ci montre qu'en plus de la régularisation du comportement, on peut avoir, une convergence de la solution vis-à-vis du maillage dans le cas d'une éprouvette avec défaut initial (Needleman, 1988).

Des simulations numériques d'essais de traction sur des éprouvettes normalisées 20x80 prélevées dans des tôles plates ont été réalisées. Nous avons constaté qu'avec cette loi de comportement en vitesse on arrive aisément à identifier une valeur constante du paramètre de sensibilité à la vitesse m (de l'ordre $3 \cdot 10^{-3}$) qui reproduit bien l'expérience lorsqu'elle est menée à une vitesse donnée (Daly *et al.*, 2004). Par ailleurs, nous avons montré qu'une valeur de m constante ne peut représenter rigoureusement le comportement du même matériau à différentes vitesses. Le choix d'un paramètre m constant est également problématique lors de la simulation du Corner Fill test à cause de la différence de gamme de vitesse de déformation entre la traction et l'hydroformage.

Une campagne d'essais de traction à différentes vitesses a été menée au Centre Auto-Applications d'ARCELOR. Les tests ont été réalisés avec des vitesses de traverses constantes de 1, 10, 100 et 500 mm/mn. Les résultats de ces différents tests sont représentés sur la figure 4. Ils montrent que, pour ce type de loi [1], le paramètre m n'est pas constant. Il dépend du niveau de déformation et de la vitesse de déformation, ces résultats sont confirmés par Levy dans (Levy, 2000).

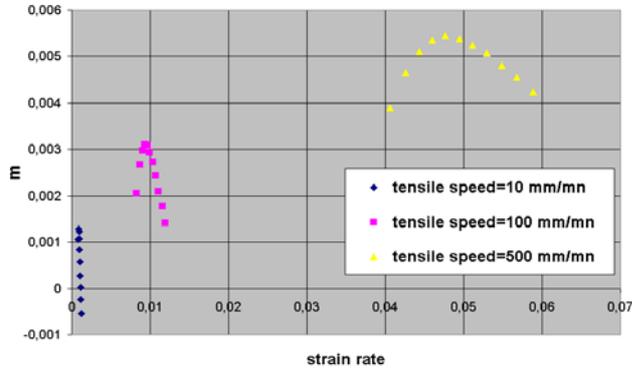


Figure 4. Variation du paramètre m en fonction de la vitesse de déformation

A partir de ces résultats, une première approche a consisté à déterminer la dépendance du paramètre m vis-à-vis de la vitesse de déformation. Une loi d'évolution en puissance a été identifiée et implémentée. Cette loi est de la forme :

$$m(\dot{p}) = a \cdot \left(\frac{\dot{p}}{\dot{P}_0} \right)^b + c \quad ; \quad (a, b \text{ et } c \text{ sont des constantes}) \quad [2]$$

Les résultats de simulation avec un paramètre m variable sont montrés sur la figure 5. Sachant que le taux d'application de la pression est d'environ 4 MPa/s, les résultats obtenus montrent une nette amélioration dans la mesure où l'écroutissage par la vitesse engendre une prédiction assez correcte de la post-localisation. Cette loi ne nécessite pas le recalage de la sensibilité à la vitesse pour chaque type d'essai mais détermine une fonction unique $m(\dot{p})$ pour un matériau donné.

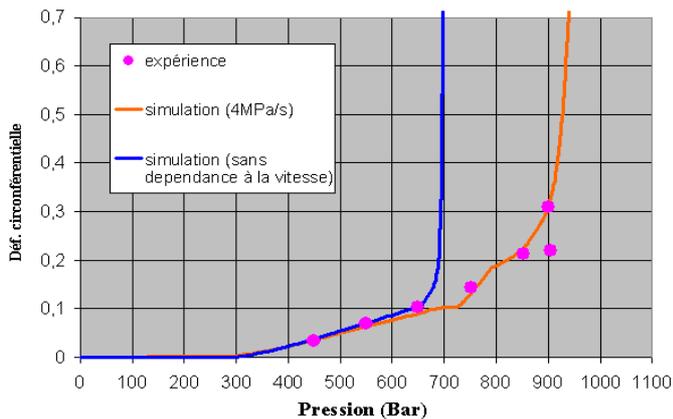


Figure 5. Influence de la vitesse de l'essai lors d'un Corner Fill test (m variable)

La loi de comportement a été implémentée dans le code Abaqus/Explicite via la routine utilisateur (VUMAT). Pour plus de rigueur, il convient de prendre en

compte le changement de propriétés du matériau lors de la fabrication du tube, cet aspect a été en partie étudié dans un précédent travail (Daly *et al.*, 2004) mais des essais en vitesses sur des éprouvettes découpées dans des tubes demeurent nécessaires afin de caractériser complètement le matériau du tube.

4. Conclusion

Le procédé d'hydroformage de tubes se poursuit même au-delà de l'apparition de l'instabilité plastique dans la phase de post-localisation. Cette phase est encore mal maîtrisée surtout au niveau de la simulation numérique. Parmi les différentes techniques de régularisation, un modèle basé sur la dépendance à la vitesse a été retenu pour la simulation d'hydroformage. Cette sensibilité à la vitesse mise en évidence expérimentalement génère un retard de la phase de post-localisation. Les paramètres de ce modèle ont été identifiés en se basant sur les résultats d'essais en vitesse réalisés au Centre Auto-Applications d'ARCELOR. La loi de comportement avec un paramètre de sensibilité à la vitesse de déformation dépendant de celle-ci a été implémentée dans le code Abaqus. Les résultats obtenus montrent une nette amélioration de la prédiction de la post-localisation. La dépendance de l'écroûissage à la vitesse de déformation associée à l'utilisation d'une fonction $m(\dot{p})$ permet de mieux représenter le comportement du matériau à différentes vitesses d'essai lors d'un Corner Fill test. L'enrichissement de la loi par la prise en compte de la dépendance de m au niveau de déformation ($m(\dot{p}, p)$) est en cours.

5. Bibliographie

- Daly D., Duroux P., Rachik M., Roelandt J.M., Wilsius J., "Simulation of post-localization behavior in tube hydroforming" *The 8th International Conference on numerical Methods in Industrial Forming Processes (NUMIFORM 2004)*, The Ohio State University, Columbus, 2000
- Duroux. P. and Tondo, S., "Influence of Material Properties on Necking in Corner Fill Test", in *Hydroforming of tubes, extrusions and sheet metals*, Edited by Klaus Siegert, International conference on hydroforming, 2, Stuttgart, IFU, 2001.
- Levy B.S, Yan B. and Stringfield M.J., "A hardening rule for steel combining strain and strain rate hardening and its application in stamping", IDDRG Conference, Ann Arbor, Mi., USA, June 2000
- Muhlhaus H.B., "Application of Cosserat theory in numerical solutions of limit load problems", 1989, p.124-137
- Needleman A., "Material rate dependence and mesh sensitivity in localization problems", *Computational Methods Application in Mechanical Engineering*, vol 67, 1988, p.69-86
- N. Boudeau, A. Lejeune and J. C. Gelin, "Influence of material and process parameters on the development of necking and bursting in flange and tube hydroforming", *Journal of Materials Processing Technology*, Vols. 125-126, 2002, p 849-855
- Till E.T. , "Parameters affecting forming limits in steel sheet", *ABAQUS users' Conference*, Maastricht, 2000